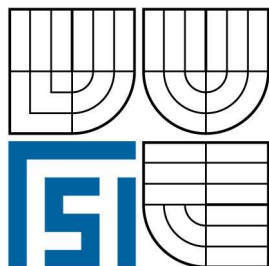


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DÍLU

"SVĚRACÍ KROUŽEK"

MANUFACTURING POSSIBILITIES OF THE CLAMPING RING PART

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jiří DVOŘÁK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Michaela Marečková

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Dvořák Jiří

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh technologie výroby dílu „Svěrací kroužek“

v anglickém jazyce:

Manufacturing possibilities of the clamping ring part

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na návrh technologie výroby dílce z ocelového plechu. V práci by měla být uvedena problematika jednotlivých navržených technologií výroby včetně výrobních postupů.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování literární studie na možné konvenční i nekonvenční technologie výroby. Zhodnocení současné technologie výroby součástí podobných tvarů. Návrh vhodné technologie výroby součástky a zpracování postupu výroby. Součástí práce bude i technicko – ekonomické hodnocení, výhody a nevýhody jednotlivých technologií a ekonomické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

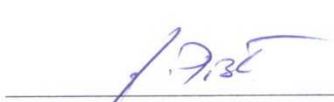
- DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.
- FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
- BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Marečková

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.


V Brně, dne 22.10.2008

L.S.



doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Jiří DVOŘÁK: Návrh technologie výroby dílu "Svěrací kroužek"

Bakalářská práce, vypracovaná v rámci bakalářského studia oboru B2307 - Strojírenská technologie, řeší problém výběru optimálního způsobu výroby konkrétní součásti s názvem "Svěrací kroužek". Zásadní důraz je kladen na ekonomickou stránku věci, při zachování podmínek předepsaných odběratelem. Součást byla původně vyráběna vypálením polotovaru z tabule plechu laserovým pálicím strojem, následným soustružením a vrtáním a výrobou závitů tradičními způsoby. Tato práce nabízí technologickou alternativu jak výroby polotovaru z plechu, tak následného obrábění. Všechny varianty jsou ekonomicky ohodnoceny a díky tomu bude nalezena ekonomicky nejvýhodnější varianta výroby celého dílu.

Klíčová slova:

Řezání laserovým pálicím strojem, Stříhání na CNC děrovacím lise, CNC obrábění, Tradiční obrábění, Porovnání nákladů.

ABSTRACT

Jiří DVOŘÁK: Manufacturing possibilities of the "Clamping ring" part

This bachelor work has been elaborated as a part of my bachelor studies of engineering technology and deals with the problem of choosing an optimal method of producing a particular component part named "Clamping ring". A fundamental emphasis is placed on the economical aspect of the matter while preserving conditions imposed by the client. The component has originally been manufactured by cutting the intermediate out of a sheet metal using a CO₂ laser cutting machine, subsequent lathe work, manual boring and creating a thread. This work offers technological alternatives to the manufacturing of the intermediate as well as the following machining. All options are evaluated with regard to the production expenses and lead to a most economically plausible method of manufacturing the entire component part.

Key words:

CO₂ laser cutting, Inserting Cutting by CNC punching machine, CNC machine working, Working, Expense comparison.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, J. *Návrh technologie výroby dílu „Svěrací kroužek“*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Marečková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh technologie výroby dílu "Svěrací kroužek" vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Ve Žďáře nad Sázavou dne 14. 5. 2009

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto slečně Ing. Michaele Marečkové za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále také děkuji firmám Del a.s., Žďár nad Sázavou, Jikov, Žďár nad Sázavou a Kovo Koukola, Žďár nad Sázavou za ochotnou spolupráci při získávání cenových kalkulací a informací o provozovaných technologiích.

OBSAH

Abstrakt

Bibliografická citace

Prohlášení

Poděkování

Obsah

1 Úvod	10
2 Literární studie.....	11
2.1 Dělení laserovým paprskem	11
2.2 Stříhání CNC děrovacím lisem.....	14
2.3 Obrábění.....	19
2.3.1 Soustružení	19
2.3.2 Vrtání.....	21
2.3.3 Výroba závitů	23
2.3.4 Obrábění na CNC obráběcím centru.....	25
3 Posouzení současného stavu	27
4 Rozbor nákladů, výrobních možností a omezení jednotlivých techlogií.....	28
4.1 Příprava polotovaru	28
4.1.1 Polotovar pálený laserem	28
4.1.2 Polotovar vystřížený CNC děrovacím lisem.	30
4.2 Obrábění polotovaru	32
4.2.1 Obrábění polotovaru na tradičních obráběcích strojích	32
4.2.2 Obrábění polotovaru na CNC obráběcím centru	33
4.3 Přehled cen výroby dílu jednotlivými technologiemi.....	33
5 Závěr	34
Seznam použitých zdrojů	35
Seznam použitých značek a symbolů	36
Seznam příloh.....	37

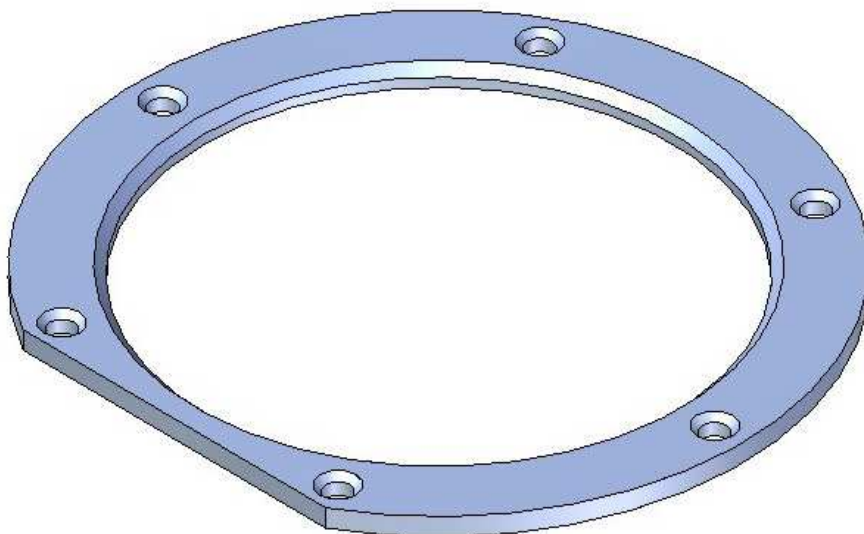
1 ÚVOD

Přestože vědeckotechnická revoluce probíhá již čtvrt tisíciletí, rozhodně neztrácí na rychlosti. Spíše naopak. Po technicky vývojově převratném devatenáctém století I. a II. světová válka a následně i Studená válka vytvořily ideální podmínky pro až horečnaté tempo pokroku v oblasti technických inovací stávajících výrobních technologií stejně tak, jako vývoje technologií naprosto nových. Jelikož je technická vyspělost jakéhokoliv výrobku přímo závislá na technických možnostech jeho výroby, musel jít veškerý vývoj zákonitě ruku v ruce s vývojem technologií zpracování materiálu. Svoje neměnné místo ve zpracování materiálů, zvláště pak kovových, má jedna z prvních operací výrobních postupů a tou je jeho dělení. V druhé polovině dvacátého století se díky přínosu výpočetní techniky začaly prosazovat do té doby neznámé způsoby dělení kovových i nekovových materiálů, které zásadním způsobem změnily přístup k dělení materiálů jako takových a hlavně přístup ke konstrukci nových výrobků.

Tato práce má za úkol stručně popsat několik nejrozšířenějších metod výroby polotovaru a následně i obrobení konkrétního výrobku a tyto metody porovnat z hlediska technologického, strojně časového a hlavně cenového.

Práce se týká vyříznutí, či vystřížení polotovaru z plechu a jeho následného obrobení. Výsledky práce budou prakticky využity v rozhodovacím procesu o způsobu výroby dílu a neberou v potaz strojové vybavení zadavatele, neboť ten tyto výrobky používá již jako hotové. Proto bylo nutné pro stanovení cen a strojních časů třeba oslovit firmy, které tímto strojním vybavením disponují. Firmy byly vybrány s ohledem na jejich strategické umístění, kapacitní možnosti a cenovou politiku.

V práci budou zmíněny a porovnávány následující technologie výroby polotovaru pro obrábění - řezání laserovým paprskem a vystřížení na CNC děrovacím lise. Následně bude porovnáno obrobení dílu na soustruhu, ruční vrtání v přípravku a ruční výroba závitů s obráběním na CNC obráběcím centru. Výsledky budou shrnuty do tabulky. Předmětem práce je díl s názvem SVĚRACÍ KROUŽEK (Viz obr. 1), který slouží jako součást vyhazovače lahví v zařízení vyrábějícím PET lahve (viz. příloha 9). Bude objednáván v pravidelných dávkách po 12 000 ks, pětkrát do roka, tedy 60 000 ks/rok. Objem výroby se bude odvíjet od situace na trhu, předpokládá se však, že výroba bude pokračovat řádově roky.



Obr.1 Svěrací kroužek

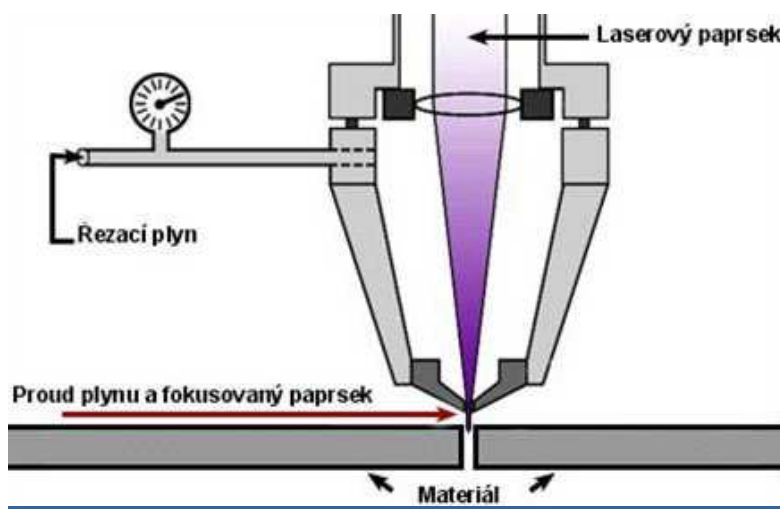
2 LITERÁRNÍ STUDIE

V této kapitole budou nastíněny základní informace o veškerých zmíněných technologiích.

2.1 Dělení laserovým paprskem [1], [2], [16], [17]

Technologie obrábění laserovým paprskem je v dnešní době využívána natolik masivně, že ji již nelze zařazovat pouze mezi technologie alternativní či nekonvenční. Tato metoda je ve strojírenství využívána nejčastěji pro samotné dělení, případně pro svařování plechu. Je vhodná jak pro dělení konstrukční oceli, tak oceli legované, omezeně pak pro dělení barevných kovů, plastů, dřeva a dalších materiálů.

Společným rysem řezání laserovým paprskem je mimořádně kvalitní řezná hrana, (zvláště pak u níže zmiňované metody tavného řezání), vysoká přesnost řezání (řádově $\pm 0,1\text{mm}$), vysoká řezná rychlost (až v desítkách metrů za minutu), prakticky bezhlučný provoz, velmi malé tepelné ovlivnění okolního materiálu, malá řezná spára (cca $0,3\text{mm}$), optimální poměr kvalita-cena a samozřejmě možnost jakéhokoliv tvarového řezání, případně i prostorového, díky využití CNC systému. Nevýhodou pak může být omezení v tloušťce řezaného materiálu (např. pro 2,5 kW stroj Mazak je to 15 mm u konstrukční oceli, 12 mm u oceli nerezové a 6 mm u hliníkových slitin), u větších tloušťek tvarové nepřesnosti, natavování materiálu při řezání otvorů průměrů menších, než je tloušťka plechu a v neposlední řadě vysoké náklady, jak na pořízení stroje, tak na jeho provoz a spotřebu technických plynů. U konstrukčních ocelí větších tloušťek je pak možno kvalitně pálit pouze materiál s pevností min. 500 MPa. U limitních tloušťek dokonce jen speciální, tzv. laserové plechy, např. typu Raex, finské firmy Rautarooki. Méně pevné materiály mají tendenci se příliš tavit, z řezné spáry vytékat a ihned po oddělení se opět slévat.



Obr.2 Schéma laserové hlavy [1]

Základem každého řezacího systému je zdroj laserového svazku tzv. rezonátor. Paprsek je z rezonátoru systémem zrcadel doveden až k řezací hlavě, umístěné na portálu řezacího stolu. Dnes užívané CNC stoly určené pro řezání ve 2D i 3D jsou v zásadě dvou koncepcí - s tzv. hybridní optikou, kdy v ose x vykonává pohyb upnutý materiál a v ose y a z, se pohybuje řezná hlava, nebo s tzv. létající optikou, kdy pohyb v obou osách vykonává řezná hlava.

V řezné hlavě je pak paprsek zaostřen do technologicky přesně definovaného ohniska závislého na typu a tloušťce materiálu. Působením soustředěné energie laserového paprsku je řezaný materiál buď taven a řezná spára je průběžně "profukována" asistenčním inertním plynem, nejčastěji dusíkem - tzv. "**tavné řezání**" (čisté nezoxidované lesklé řezy), nebo taven a zároveň spalován kyslíkem coby asistenčním plynem při tzv. "**oxidačním řezání**" (řezy s patrnou stopou oxidace), případně je taven a odpařován při méně používaném **řezání "sublimačním"**.

U *tavného řezání* laserem se dělený materiál lokálně nataví a vzniklá tavenina se od základního materiálu odděluje proudem vysoce čistého inertního plynu, který se do místa řezu přivádí, ale na vlastním procesu řezání se nepodílí. Ve srovnání s ostatními metodami řezání laserem lze u tohoto způsobu docílit jen nižší řezné rychlosti. Maximální řezná rychlost stoupá lineárně s výkonem laseru a snižuje se přibližně lineárně s tloušťkou řezaného materiálu. Laserový paprsek je jen velmi málo absorbován. Tento způsob je vhodný především k vytváření nezoxidovaných řezů kovových materiálů, jako např. nerezových ocelí, hliníku a pozinkovaného plechu. Je-li použit jako inertní plyn dusík s vysokou čistotou a vysokým tlakem ($1 \div 2$ MPa) na trysce, jsou výsledkem řezání kovové lesklé řezné plochy, které nevyžadují žádné finální úpravy. V závislosti na kvalitě řezaného materiálu, tlaku pomocného plynu a nastavení podmínek, se mohou na spodní hraně řezu objevit otřepy, které je nutno odstranit mechanicky.

Oxidační řezání laserem se od tavného řezání liší pouze použitím kyslíku jako řezného plynu. Vzájemným účinkem kyslíku s roztaveným povrchem kovu vzniká exotermická reakce, která má za následek další ohřívání materiálu. V důsledku tohoto efektu lze dosáhnout u konstrukčních ocelí vysokých rychlostí řezu, řez je však širší a horší kvality, s vyšší drsností a s větším tepelně ovlivněným pásmem. Tento způsob není proto vhodný pro zhotovování ostrých geometrických tvarů, malých otvorů, apod. Určitým východiskem je přechod na pulsní provoz laseru, kdy se řezaný materiál v mezeře mezi jednotlivými pulsy ochladí a nenastává exotermická reakce. Další vylepšení kvality řezu je možné dosáhnout regulací výkonu laseru, který musí být optimalizován dle tloušťky materiálu. Řezná rychlost je pak omezena sníženým výkonem laseru.

Aktivní prostředí CO_2 laseru je nejčastěji tvořeno tzv. rezonátorovým plynem, který tvoří směs tří plynů. Molekula dusíku je excitována budícím výbojem (rozkmitána) a srážkami předává energii molekulám oxidu uhličitého, jejichž kmitáním je dosaženo emise fotonů. K odvodu přebytečné energie z aktivního prostředí a k jeho chlazení slouží atomy hélia.

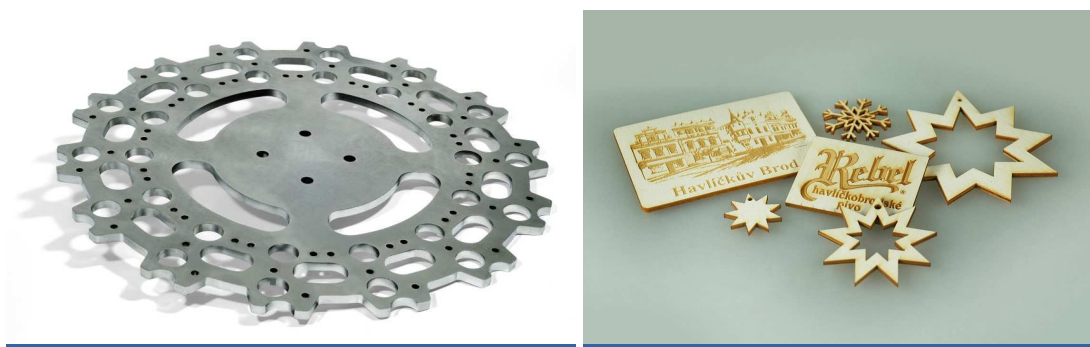


Obr.3 Ukázka 2D řezání [2]



Obr.4 Ukázka 3D řezání [2]

Moderní řezací systémy navíc umožňují průběžně a plynule měnit výkon laseru, rychlost posuvu a další parametry, jejichž optimální kombinace umožňuje stále přesnější a detailnější řezání se stále menším teplotním dopadem na výrobek i okolní materiál. Možnosti jednotlivých řezacích strojů jsou dány především výkonem rezonátoru, který se dnes pohybuje obvykle mezi $(1200 \div 6000)$ W, a technickou vyspělostí pracoviště. Každopádně horní hranice technologických možností kvalitního laserového řezání pro běžnou průmyslovou praxi leží dnes v rozmezí tloušťky materiálu $(20 \div 25)$ mm a dle úvah odborníků z výzkumu i praxe se pravděpodobně nebudou do budoucna již výrazněji posunovat. Dnes je vývoj zaměřen především na pohybovou dynamiku strojů, díky které je pak využita vysoká absolutní rychlost laserového řezání i na menších dílcích a dílcích složitých tvarů či s mnoha otvory, čímž se výrazně zkracují výrobní časy.



Obr.5 Ukázky výpalků [3], [4]

Laserové stroje, stejně jako většina ostatních CNC strojů, bývají programovány z externího počítače. Tvary, vytvořené buď podle připravených souborů ve formátu .dxf, nebo přímo pomocí softwaru k tomu určeného, jsou vhodným postprocesorem převedeny na kódovaný program a poté interní sítí přeneseny do počítače laserového systému.



Obr.6 Ukázka laserového pálicího stroje [2]

2.2 Stříhání CNC děrovacím lisem [6]

Stříhání na CNC děrovacích lisech představuje nejmodernější a nejproduktivnější způsob mechanického dělení plechového materiálu v kusové a malosériové výrobě. Jde o číslíkově řízené stroje, které jsou programovány z externích počítačů pomocí vhodného softwaru a postprocesoru. Vytvořený děrovací program lze do stroje přenést například na disketu (u starších typů), u nových systémů jsou programy zasílány do stroje pomocí interní sítě.

CNC děrovací lis pracuje s nástroji, jako jsou střížníky, střížnice, uretanové stěrače, multitooly a tak dále, které automaticky dle programu vybírá ze zásobníku. V principu jde o jednu z možností stříhání plechu, tzv. děrování, což je vystřihování uzavřeného tvaru do plechu tvarovými nástroji, kde je výstřížek většinou odpadem. Nicméně tyto stroje jsou schopny i velice sofistikovaných úkonů, jako je ohraňování drobných dílů, prolamování, důlčikování a dokonce i tváření závitů. Některé CNC děrovací lisy mohou díky široké možnosti výměny nástrojů vyprodukovat na jedno upnutí plechu celé kompletně naohýbané díly např. typu počítačová skříň i s prostříženými otvory, lisovanými větracími žaluziemi a závitů, včetně naohýbání do konečného tvaru. Hybridní děrovací lisy můžou dokonce spojit výhody děrovacích lisů a laserových pálicích strojů tím, že jeden stroj používá jak děrovací hlavu, tak i celý laserový systém. Stroj pak dovede kupříkladu vyrobít otvory děrovacími a lisovacími nástroji a následně komplikovanou konturu stejného dílu vypálit laserem.

Děrování na CNC děrovacích lisech lze rozdělit na dvě základní skupiny činností. První je už zmíněné **děrování** otvorů, případně tváření pomocí speciálních nástrojů a druhé je tzv. **niblování**. Niblováním se rozumí metoda děrování, kde jednotlivé úder střížníku jdou blízko vedle sebe a nevytvářejí tedy samostatné funkční otvory, ale sérii otvorů, kterýmžto způsobem lze vytvořit jakýkoliv tvar.

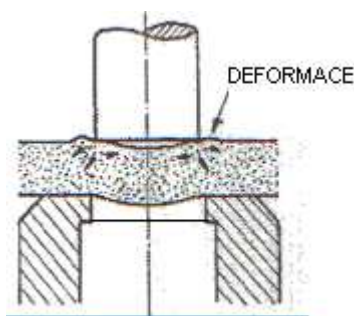


Obr. 7 Ukázka děrovacích nástrojů [5]

Na obr. 8 – 17 jsou stručně načrtnuty děje v materiálu při děrování, a to za použití běžné střížné vůle $(3 \div 6) \%$ tloušťky materiálu a oproti tomu v děrování častěji používané vůli $(10 \div 12) \%$ tloušťky materiálu:

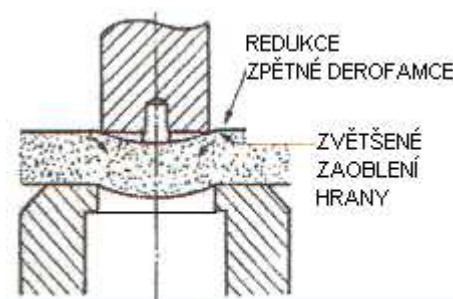
1. Kontakt

Sjíždějící střížník udeří do materiálu. Deformační vlna postupuje střížníkem a na horní straně materiálu se vlivem přechování vytvoří malá deformace. Na několik milisekund střížník zpomalí kvůli usazení vůli v ložiscích, spojce atd. Tlakové napětí poté začne vzrůstat, hlavně pak na hranách razníku.



Obr. 8 Kontakt $(3 \div 6) \% t$ [7]

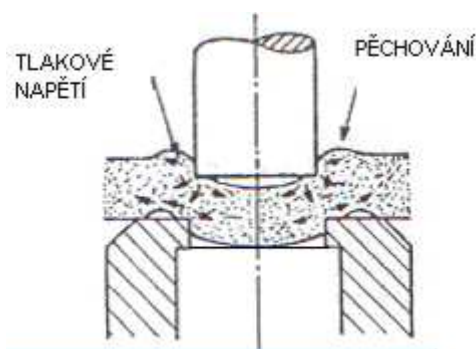
Díky větší vůli je materiál vtlačován do dutiny střížnice snadněji a přechování je menší.



Obr. 9 Kontakt $(10 \div 12) \% t$ [7]

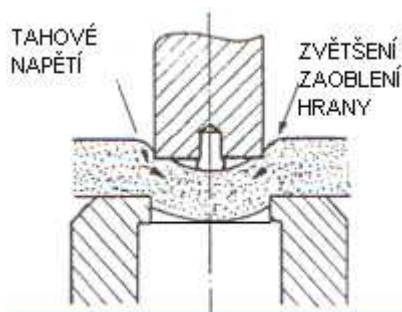
2. Porušení

Střížník nyní začíná pronikat do materiálu, který se snaží téct do oblastí s menším deformačním odporem. To způsobuje ztenčení horní vrstvy materiálu vlivem přechování. V tu chvíli je spodní strana materiálu vtlačena do dutiny střížnice. Přímě pod střížníkem je kvůli podtlaku materiál zdeformován méně. Působení maximální síly je ohraničeno na úzkou plochu okolo hrany střížníku.



Obr. 10 Porušení $(3 \div 6) \% t$ [7]

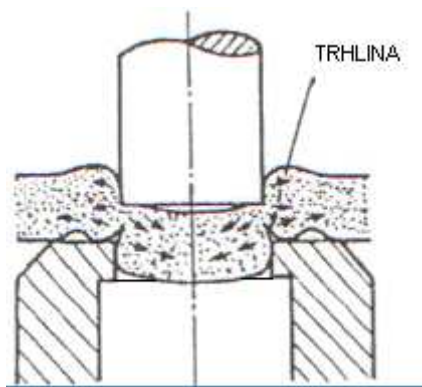
Jelikož větší střížná vůle umožňuje snadnější vtlačení plechu do dutiny střížnice, vytváří se v deformační zóně velké tahové napětí. Díky tomu, že je minimalizováno tlakové napětí, požadavek na lisovací výkon se značně snižuje.



Obr. 11 Porušení $(10 \div 12) \% t$ [7]

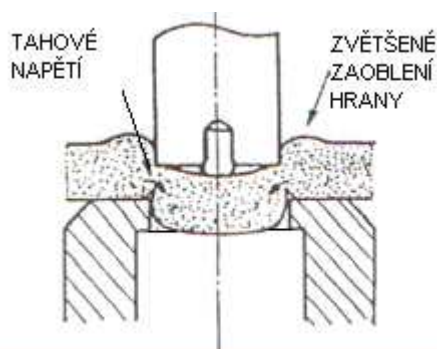
3. Lom

Jak se materiál ztenčuje a tlak v příčném průřezu roste na maximum, na střížné hraně, tedy mezi hranami střížníku a střížnice se začínají tvořit malé trhliny. Trhliny rostou až do chvíle, kdy se napětí přiblíží mezi pevnosti materiálu.



Obr. 12 Lom ($3 \div 6$) % t [7]

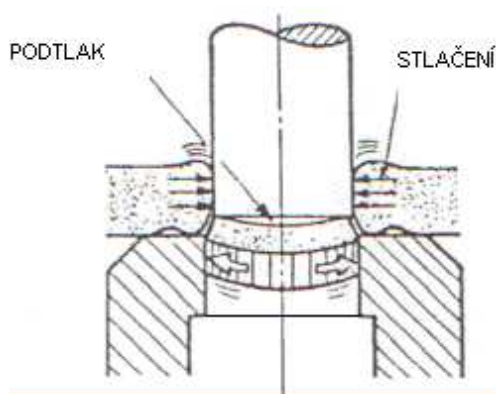
Pokud je vůle velká, je tahové napětí daleko větší, než napětí tlakové. Porušení materiálu se tedy objeví při nižším zatížení a při menším průniku. Délka lesklého pásma je úměrně tomu zmenšena, což může přirozeně být bráno jako nevýhoda (při požadavku vysoké kvality).



Obr. 13 Lom ($10 \div 12$) % t [7]

4. Průnik

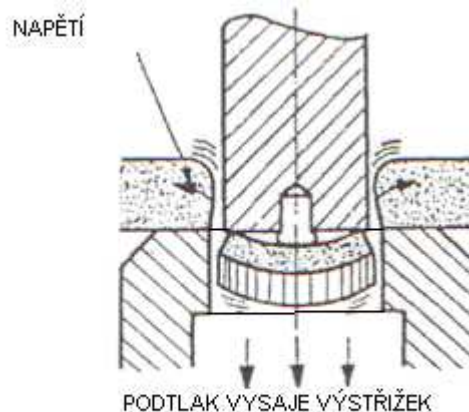
Během fáze pronikání se trhliny zvětšují, až náhle dojde k povolení. Jako výsledek uvolnění napětí dojde v plechu i ve vystřižení součásti k vibracím. Otvor se stáhne a sevře nástroj. Výstřižek, který také uvolnil napětí, se roztáhne a zapřímí se v raznici.



Obr. 14 Průnik ($3 \div 6$) % t [7]

Když je výstřížek oddělen od plechu, mezi ním a střížníkem se vytvoří podtlak. Aby se zamezilo nasávání výstřížků střížníkem podtlakem, podtlak musí být odstraněn, což znamená buď použití vzduchových kanálků ve střížníku, nebo vytvoření silnějšího podtlaku ve střížnici. Pokud byl nástroj mazán, může to rovněž způsobit nalepení výstřížku na střížník. K oddělení výstřížku a střížníku lze použít čep s pružinou, nebo pryžový kolík. Když se tahové napětí, způsobené velkou střížnou vůlí uvolní, materiál se v lesklém pásmu odpruží zpět a otvor se zvětší. Což je v přímém protikladu se situací, která

vznikne u malé střížné vůle. Střížník může poté volně vyjet z otvoru.



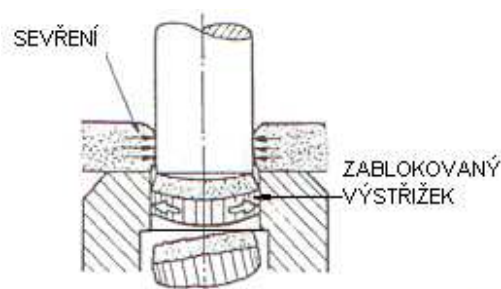
Obr. 15 Průnik ($10 \div 12$) % t [7]

5. Stažení

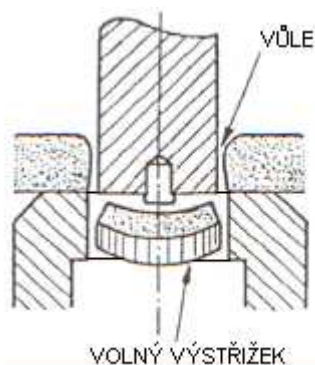
Během zpětného pohybu nesmí střížník vytáhnout výstřížek, což by mohlo způsobit vytržení celé tabule plechu z upínek a případně i poškození nástroje. Proto je nutné, aby výstřížek zůstal v dutině střížnice a odolal zpětným silám, které vytváří podtlak díky mazadlům pod střížníkem, nebo samotné vytažení střížníku z plechu. Střížník musí také překonat třecí síly způsobené sevřením plechu.

Při vytahování nástroje vznikne min. ($60 \div 70$) % jeho opotřebení.

Nasávání, vzniklé u malých vůlí, způsobující vytahování výstřížků ze střížnice, se snižuje se zvětšující se vůlí. A co je důležitější, mezera mezi střížníkem a otvorem značně snižuje jak zpětné síly, tak opotřebení nástrojů.



Obr. 16 Stažení ($3 \div 6$) % t [7]



Obr. 17 Stažení (10-12% t) [7]

Z výše uvedeného popisu je zřejmé, že proces děrování a stříhání vůbec, je poměrně komplikovaná záležitost, a že otázka optimální střížné vůle rozhodně není jednou pro vždy vyřešena. Kupříkladu v USA se obecně užívá podstatně větších vůlí, než v Evropě, a to z důvodu efektivity. Pochopitelně za snížené kvality stříhu.

Stejně, jako pro lisy používané na postupové stříhání, i pro děrovací lisy je jednou ze základních technickým parametrů jmenovitá síla. I když výrobce uvádí v parametrech i maximální průměr děrovaného otvoru a maximální tloušťku děrovaného materiálu, v některých případech, například u velkých nástrojů speciálních tvarů, je nutné střížnou sílu zkontrolovat. Střížná síla se počítá podle následujících vzorců:

$F_S = S_S \cdot \tau_{ps}$	Kde:	F_S [N]	- střížná síla
		S_S [mm ²]	- střížná plocha
		τ_{ps} [MPa]	- střížný odpor materiálu
$S_S = l \cdot t = \pi \cdot d \cdot t$		l [mm]	- délka střížné hrany
$\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$		d [mm]	- průměr děrovaného otvoru
		t [mm]	- tloušťka materiálu
		R_m [MPa]	- mez pevnosti v tahu

Děrovací CNC lisy jsou vyráběny v rozmanitých velikostech, odpovídajících standardním formátům tabulí plechu (1000 x 2000 mm, 1250 x 2500 mm, 1500 x 3000). Také mají různé lisovací síly a další parametry. Kupříkladu výrobce stroje, předpokládaného pro výrobu dílu zpracovávaného touto prací, tedy stroje Pullmatic 720, švédská společnost Pullmax, uvádí pozoruhodné údaje kupříkladu o kadenci děrování, která může být až 880 úderů za minutu, při značení dokonce až 2600 (!!!) úderů za minutu. Další parametry viz. Příloha č. 1.



Obr. 18 Ukázka děrovacího lisu [7]

2.3 Obrábění [8], [9], [11], [20]

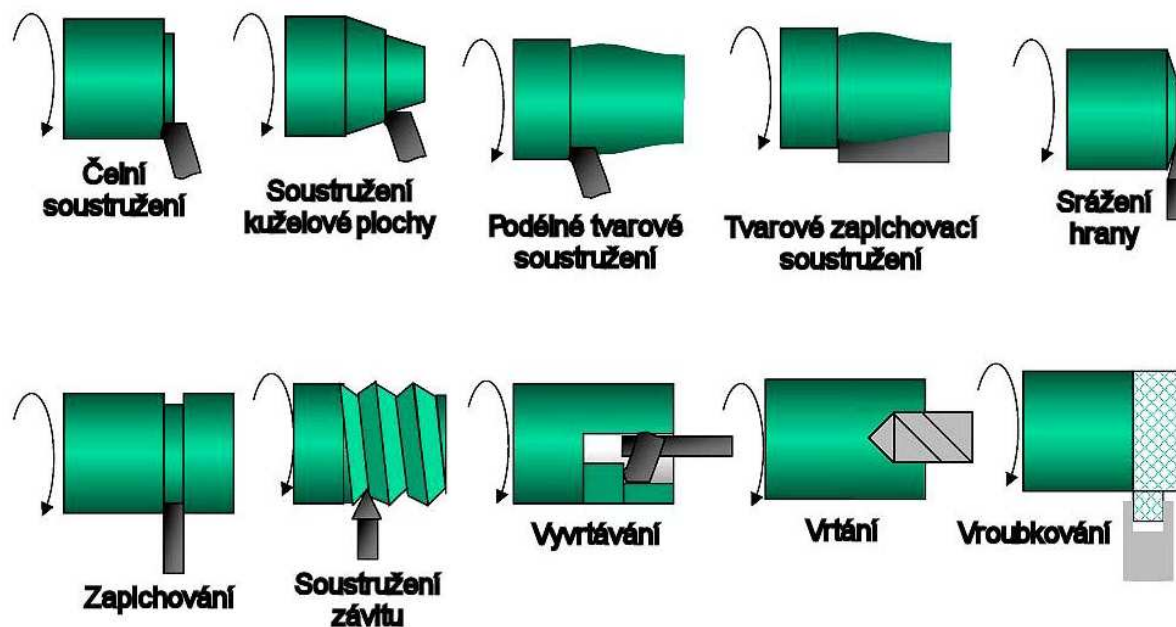
Obrábění patří mezi nejdůležitější technologie zpracování materiálů, hlavně kovových. Tato kapitola se zabývá obráběním třískovým, to jest takovým, při němž je odebírán materiál z polotovaru vhodnými nástroji a při tomto procesu vzniká jako vedlejší produkt tříska. Řezný proces, tedy vlastní proces oddělování materiálu z obrobku, lze v závislosti na způsobu dělit na kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). Pro výrobek řešený v této práci bude z těchto způsobů využito pouze soustružení, vrtání a výroba závitů.

2.3.1 Soustružení

Soustružení patří mezi nejjednodušší způsoby obrábění a je základním obráběcím procesem výroby rotačních strojních součástí. Soustružením lze:

- obrábět vnější válcové, kuželové i tvarové plochy
- obrábět vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy
- obrábět čelní rovinné plochy
- vyrábět zápichy
- upichovat
- vrtat, vyvrtávat, vystružovat
- řezat závit
- vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit

Hlavní, rotační, pohyb při soustružení vykonává obrobek, vedlejší, posuvný přímočarý pohyb koná nástroj.



Obr. 19 Základní práce na soustruhu [8]

Při soustružení je většinou používáno jednobřitých nástrojů různého provedení, tzv. soustružnických nožů, které lze z technologického hlediska rozdělit na:

- radiální
- prizmatické
- kotoučové
- tangenciální
- nože s vyměnitelnými břitovými destičkami



Obr.20 Ukázka radiálních nožů s vyměnitelnými břitovými destičkami [9]

Soustružení probíhá na strojích nazývaných soustruhy. Soustruhy představují největší podíl strojírenské obráběcí techniky a v obráběcích provozech podniků se vyskytují ve velkém počtu typů, s různým stupněm automatizace.

Podle stupně automatice se soustruhy dělí na:

- ručně ovládané
- poloautomatické
- automatické

Podle konstrukčně technologického hlediska jsou soustruhy děleny na:

- hrotové
- revolverové
- svislé
- speciální

V případě řešeného dílu bylo použito univerzálního hrotového soustruhu. Ten je běžně používán v kusové, či malosériové výrobě k obrábění nejrůznějších rotačních ploch ať už vnějších, nebo vnitřních, lze na něm však také obrábět plochy rovinné čelní, řezat závity, vrtat a vyvrtávat a obrábět kuželové plochy, případně i plochy tvarové.

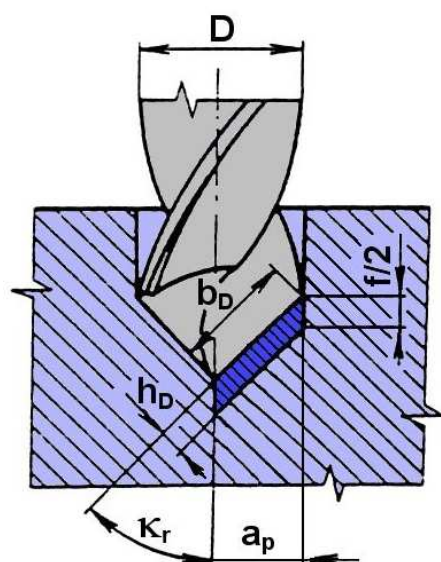


Obr. 21 Ukázka soustruhu - Soustruh Opti 560 x 3000 [10]

2.3.2 Vrtání

Otvory jsou vyráběny další ze základních metod obrábění, a tou je vrtání, případně vyvrtávání, jde-li o zvětšování děr již předvrtaných.

Hlavní pohyb je rotační a vykonává jej nástroj, stejně tak, jako pohyb vedlejší, posuvný. Ten probíhá zpravidla v ose vrtáku, tedy i rotace a to většinou kolmo k obráběnému materiálu, do kterého nástroj zajíždí.



Obr. 22 Průřez třísky při vrtání [11]

B_d [mm] – jmenovitá šířka třísky

h_d [mm] – jmenovitá tloušťka třísky

a_p [mm] – šířka záběru ostří

f [mm] – posuv na otáčku

Pro vrtání používáme nástroje - vrtáky. Základním kritériem pro jejich rozdělení je průměr vrtaného otvoru a poměr jeho průměru a délky. Jde-li o průměry do $\varnothing 30$ mm s podílem $L \leq (5 \div 6) \times D$, jde o krátké díry, nad $D > 30$ mm a poměrem $L \leq 2,5 \times D$ jsou díry hluboké.

Pro vrtání hlubokých děr byly vyvinuty speciální postupy a nástroje, zaručující plynulý vrtací proces bez nutnosti vyjíždění nástroje kvůli odvodu třísek. Odvod třísek je u takových nástrojů realizován za pomoci přívodu tlakové kapaliny až k ostří nástroje. Základní rozdělení vrtáků pro hluboké díry je následující:

- hlavňové vrtáky
- korunové trepanační hlavy
- nástroje BTA a STS

Vrtáky pro krátké díry se rozdělují na:

- šroubové
- frézovací
- kopinaté

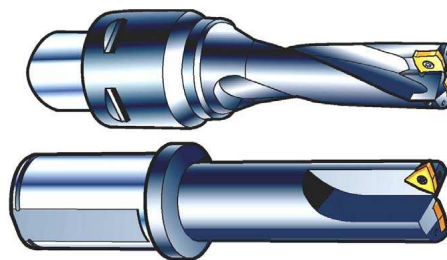
Vrtání, vyvrtávání, zahlubování, ale i vyhrubování a vystružování se provádí na strojích zvaných vrtačky. Případně lze vrtání realizovat na soustruzích, vyvrtávačkách, či obráběcích centrech.

Vrtačky dělíme dle konstrukce na:

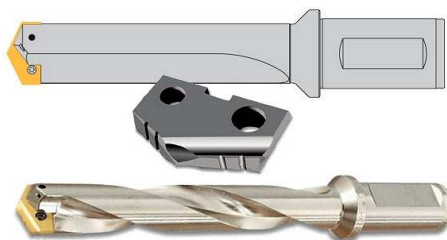
- stolní
- sloupové
- stojanové
- otočné
- vodorovné (na hluboké díry)
- speciální



Obr. 26 Příklad stolní vrtačky -
- Stolní vrtačka Opti B 23 Pro [10]



Obr. 25 Příklad frézovacích vrtáků [14]



Obr. 24 Příklad kopinatého vrtáku [13]



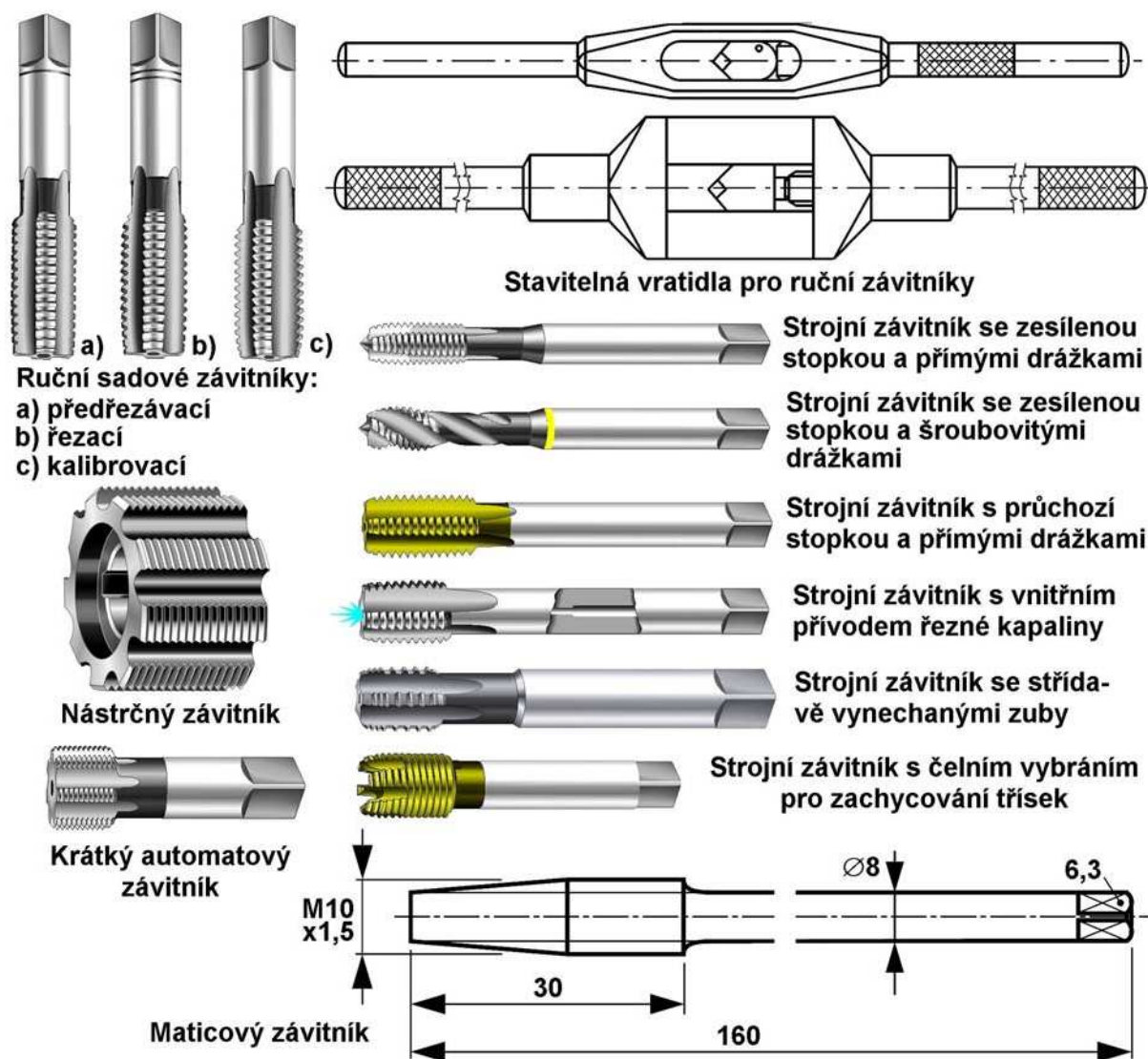
Obr. 23 Příklad šroubového monolitního vrtáku [12]

2.3.3 Výroba závitů

Závity, jako významné konstrukčně-technologické prvky strojírenských součástí plní spojovací, nebo pohybovou funkci. Z technologického hlediska lze závity rozdělit na závity vnitřní a závity vnější. Závity jsou vyráběny buď obráběním, nebo tvářením (případně se můžou odlévat či vstříkovat, jako v případě barevných kovů, či plastů).

Obrábění závitů se realizuje za pomoci závitníků, závitových čelistí, a závitových hlav, a to buď soustružením, nebo frézováním, případně ručně. Přesné závity se poté i brousí, případně lapují. V případě řešeného dílu jsou závity vyráběny buď ručně sadou závitníků, strojně na vrtačce, obráběním na CNC obráběcím centru, nebo tvářením na CNC obráběcím centru, čemuž bude věnována další kapitola.

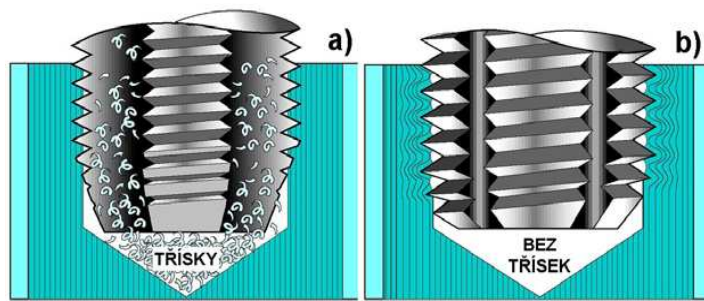
Ručním způsobem lze závity vyrábět pomocí závitníků. Ty bývají v sadě po třech; tuto sadu tvoří závitník předřezávací, řezací a kalibrovací. Závitníky se umísťují do tzv. vratidla. Před samotným řezáním závitů je třeba předvrtat do dílu otvor odpovídajícího průměru.



Obr.27 Ruční a strojní závitníky [11]

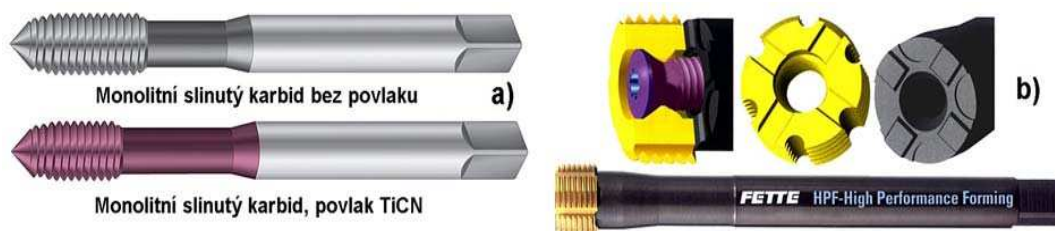
Při strojním řezání závitů se zpravidla používá jednoho závitníku s kratším řezným kuzelem a s přímými, nebo šroubovitými drážkami.

Tváření závitů je z hlediska produktivity podstatně výhodnější. Mimo jiné se prosazuje také u obrábění na CNC obráběcích centrech. Kromě zvýšené produktivity má tvářený závit další nezanedbatelnou výhodu, kterou je zvýšená pevnost. Při tváření totiž na rozdíl od obrábění, kde jsou vlákna kovu narušena, dochází ke zpevnění materiálu. Rozdíl viz. obr. 28. Další výhodou je absence třísek při obrábění a také zde není třeba dokončovacích úprav, jako je např. odhrocení.



Obr.28 Porovnání výroby závitu a) obráběním, b) tvářením [11]

Výroba závitů tvářením se provádí nejčastěji monolitními závitníky z povlakovaných i nepovlakovaných slinutých karbidů, případně závitníky s vyměnitelnými hlavicemi.

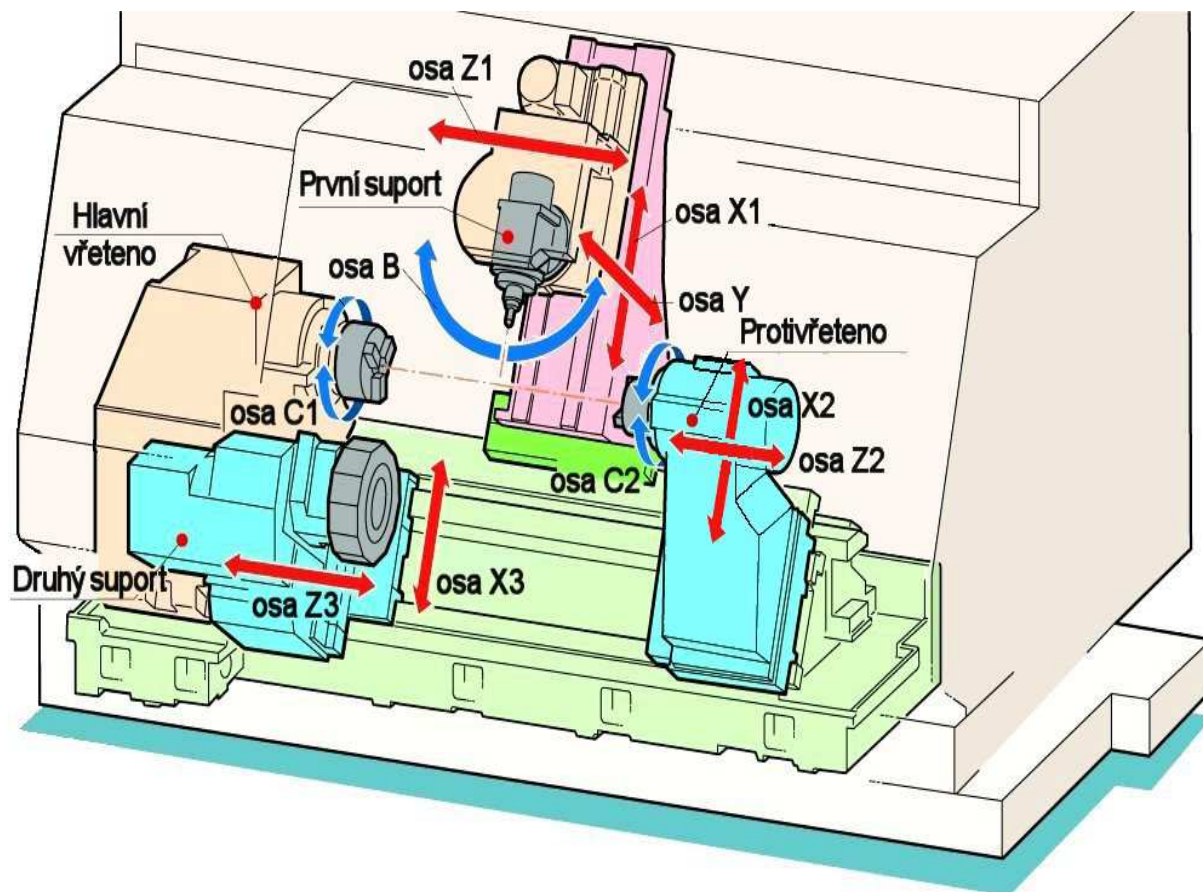


Obr.29 Příklady tvářecích závitníků a) monolitní závitníky, b) závitník s vyměnitelnou hlavicí [11]

2.4 Obrábění na CNC obráběcím centru [8], [18]

ISO definice praví, že CNC (Computer Numeric Control) obráběcí centrum je číslicově řízený stroj schopný :

- samostatně vybírat a vyměňovat nástroje
- provádět různé obráběcí operace na jedno upnutí obrobku
- nastavovat vzájemnou polohu obrobku a nástroje
- řídit posuvy, otáčky a další úkony



Obr. 30 Funkce soustružnického obráběcího centra [15]

Jak už název napovídá jde o stroje s nejvyšší možnou mírou automatizace a jeho činnost je plně řízena programem vytvořeným pomocí PC. Starší typy těchto systémů využívaly pro záznam programu například děrných štítků, děrných pásků, později magnetických pásků. Nyní jsou stroje programovány počítačem, který je buď přímo součástí stroje, nebo je do stroje zasílán pomocí interní sítě z místnosti programátora.

Tvar a rozměr obrobku je specifikován vhodným číselným vyjádřením souřadnic, směrů a smyslů pracovních pohybů nástrojů. Výhodou je poměrně snadné vytvoření tzv. programu, následná změna jakýchkoliv jeho parametrů, libovolná opakovatelnost, rychlý a nenáročný přenos programů z PC do centra a také jejich snadná archivace.

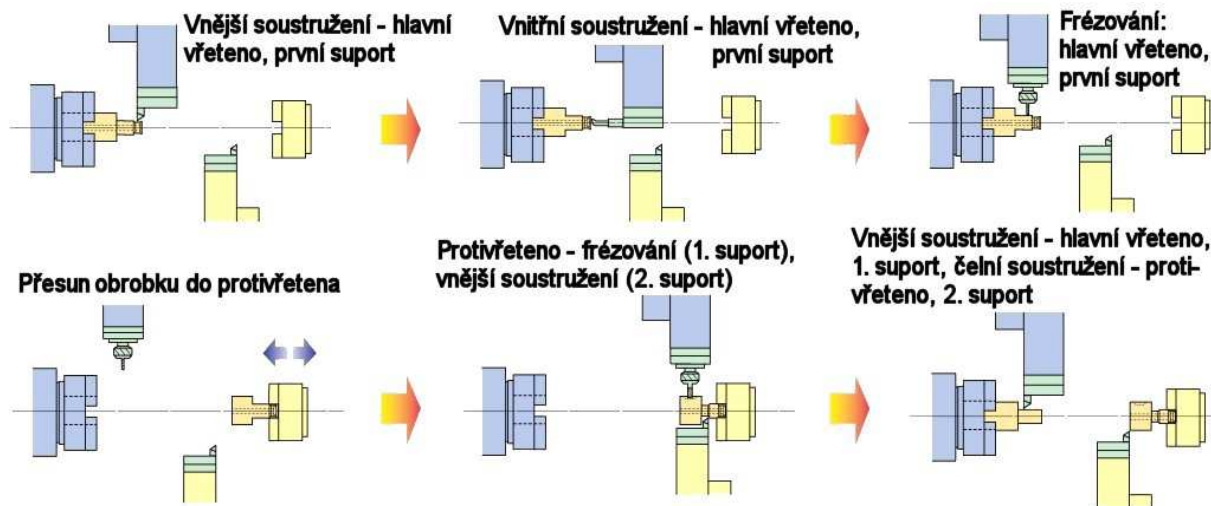
Oddělení pracoviště programátora od pracoviště výrobního s sebou nese další výhody, dané touto nezávislostí. Programátor může kupříkladu vytvářet programy tzv. "do zásoby" bez ohledu na právě prováděné operace na stroji. Také může jeden programátor na jednom PC, vybaveném vhodným programovacím softwarem, vytvářet programy pro více center.

Tento systém si našel díky své flexibilitě uplatnění hlavně v malosériové výrobě, nicméně se uplatňuje i ve výrobě kusové, neboť umožňuje řešit i technicky velice složité operace obrábění tvarově složitých obrobků, dříve vyráběných se značnými obtížemi a s vysokými druhotnými náklady pomocí šablon a přípravků (např. zápustky, formy pro tlakové lití atd.)

Z technologického hlediska se obráběcí centra dělí na :

- obráběcí centra pro výrobu rotačních součástí (soustružnická a to horizontální, nebo vertikální, dle směru osy vřeten)
- obráběcí centra pro výrobu nerotačních součástí (frézovací a rovněž buď horizontální, nebo vertikální)

Ovšem v dnešní době se rozdíly mezi oběma typy stírají a nové, universální stroje ovládají trh.



Obr. 31 Příklad pracovního cyklu soustružnického obráběcího centra [8]



Obr. 32 Příklad CNC obráběcího centra [15]

3 POSOUZENÍ SOUČASNÉHO STAVU

Jak už bylo zmíněno, zabýváme se možnostmi výroby dílu, který je již skutečně produkován. Jeho výroba probíhá v Německu a z ekonomických důvodů je plánováno přesunout jeho výrobu do České republiky. U příležitosti přesunu výroby byla zadána tato práce, která má rozhodnout, zda bude zachován stávající systém výroby tak, jak je zaběhlý, nebo tato bude nahrazena výhodnější alternativou.

I když jsou výrobní náklady německého výrobce známe, bude pro nastínění současného stavu a porovnání variant výroby použito relevantní cenové kalkulace, vypracované formou nabídek českých firem, které by v případě vítězství v poptávkovém řízení díly vyráběly.

Stávající způsob výroby zahrnuje vypálení polotovaru kroužku laserovým pálicím strojem, soustružení na univerzálním hrotovém soustruhu, ruční vrtání otvorů na stojanové vrtačce, výrobu závitů na vrtačce a konečné odhrocení na téže vrtačce.

Znatelně lepší produktivity práce a přesnosti výroby u operace vrtání otvorů bylo dosaženo:

a) použitím vrtacích pouzder, nebylo tedy nutno před započítím vrtání rozkreslovat polohu otvorů (rozkreslování by šlo jinak řešit přes šablonu, nebo by bylo možno naznačit polohu otvorů křížky přímo laserem za použití malého výkonu), ani použít důlčík.

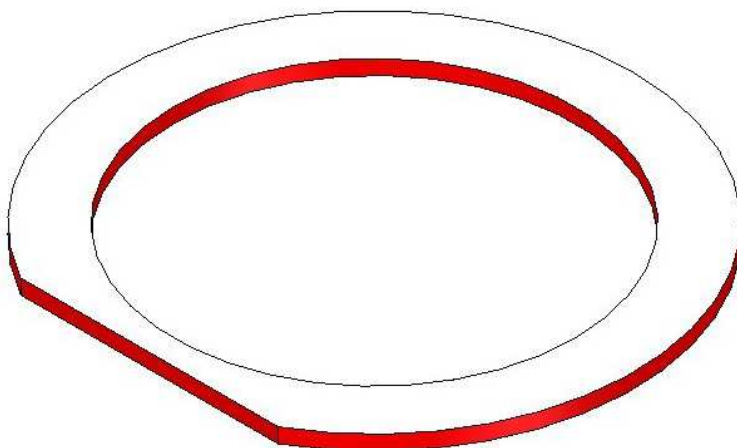
b) použitím vrtacího přípravku, do něhož je možno uložit a vrtat zároveň až pět kusů najednou.

Další kapitoly se budou zabývat otázkou, zda nelze řezání laserem nahradit nějakou jinou, ekonomicky výhodnější technologií a následně, zda nebude výhodnější místo jednotlivého strojního obrábění použít obrábění na CNC obráběcím centru. Jednotlivé způsoby výroby byly představeny v předešlých kapitolách a jejich ekonomické hodnocení, včetně porovnání a návrhu technologií nejvýhodnější, bude uvedeno v kapitole následující.

4 ROZBOR NÁKLADŮ, VÝROBNÍCH MOŽNOSTÍ A OMEZENÍ JEDNOTLIVÝCH TECHLOGIÍ

V této kapitole bude proveden rozbor jednotlivých výrobních možností s ohledem přímo na zkoumaný výrobek a zvolené dodavatele. Možnosti jednotlivých technologií jsou omezeny výběrem firem přizvaných ke spolupráci a jejich strojnímu vybavení. Při volbě firem v poptávkovém řízení byla zohledněna technologická vyspělost jejich strojů, spolehlivost a v neposlední řadě i kapacitní možnosti. V rozhodovacím procesu bude mít největší váhu cena fakturovaná za výrobu jednotlivými technologiemi.

4.1 Příprava polotovaru



Obr. 33 Polotovaru pro obrábění

Při přípravě výroby polotovaru je pracováno se základním předpokladem, že bude vyráběn z tabule plechu tloušťky 3 mm. Tabule plechu z oceli 11 523, tloušťky 3 mm, jsou standardně vyráběny a dodávány v základních rozměrech 3000 x 1500 mm, 2500 x 1250 mm a 2000 x 1000 mm. Stejných rozměrů bývají i stoly strojů na dělení plechu. V tomto případě veškeré stroje, se kterými se v porovnání počítá, mají stoly, na něž lze umístit plech velikosti 3000 x 1500 mm. Stejná velikost plechu je také uvažována pro výrobu; větší plech znamená minimalizaci manipulačních časů a teoreticky i lepší využití materiálu.

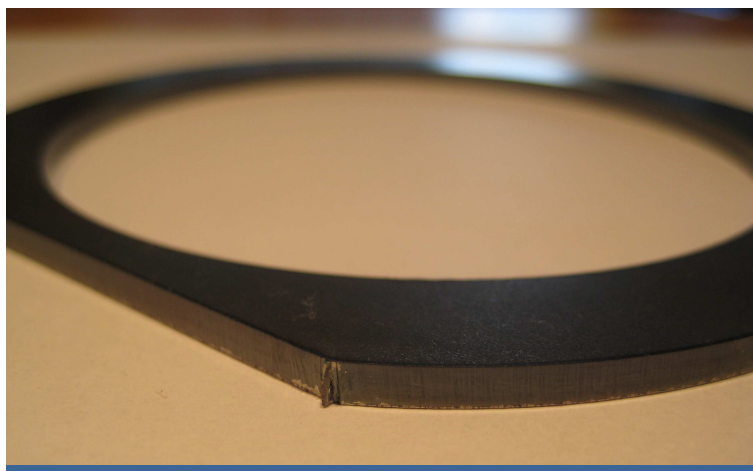
4.1.1 Polotovaru pálený laserem

Bude-li polotovaru vypálen laserem, bude třeba na obvodové kontuře použít tzv. můsteků. Můstek tvoří nedopálená část kontury a slouží k udržení se výpalku v tabuli plechu. Je to důležitá okolnost, neboť v případě, že výpalek by byl vypálen kompletně a tedy i kompletně oddělen od plechu, propadl by do roštů. To má za následek hned tři problémy. Hypotetické, nicméně velmi reálné. Za prvé je to popálení výpalku. Je třeba si uvědomit, že laser je metoda dělení tepelného. Během pálení tedy vznikají v materiálu vysoké teploty a tato okolnost způsobí, že k oddělení materiálu od plechu dojde poněkud dříve, než paprsek dojde na konec naprogramované cesty. Jde řádově o zlomky vteřiny, paprsek však často i tak stihne zasáhnout hranu obrobku, který už mezitím padá mezi rošty na dopravníkový pás. Na obrobku poté vznikají nevzhledné popáleniny, které obvykle obrobek znehodnotí. Druhý problém se týká samotného propadnutí výpalku mezi rošty. Pokud propadne až na dopravníkový pás, vše je v pořádku, neboť ten jej vynese z místa pálení do vany, ve které se pak výpalky hromadí. Často se však výpalek zachytí v prostoru mezi rošty na hrubé vrstvě strusky, vznikající

pálením a pokrývajícím vnitřek stolu, a je poté touto struskou během dalšího pálení znečištěn. Čištění takto znehodnocených výrobků je zdlouhavá a nepříjemná práce navíc, nehledě k tomu, že na některých výpalcích může být struska přímo navařena a její odstranění beze stop je prakticky nemožné. Třetí problém tkví ve tvaru a velikosti výpalku. Po oddělení výpalku od plechu nemusí výpalek propadnout rošty na pás, ani zůstat v původní poloze uvnitř plechu, ale může se pootočit a vzpříčit se tak mezi hřebeny roštů. Když poté jede pálicí hlava znovu okolo pálivše sousední díl, může o takto vzpříčený obrobek zavazit a poškodit se.

Tedy z těchto důvodů budeme používat můstek, a to pouze na venkovní straně výpalku. Vnitřní kruh nechť je popálený a znečištěný struskou, je to odpad. Pouze bude nutno jej hlídat, aby se nepřičil proti řezací hlavě.

Optimální můstek je věcí zkušenosti programátora a je třeba zvolit takovou velikost, tvar a umístění, aby šla součást lehce vyložit z plechu. Nesmí však sama vypadávat během řezání.



Obr. 34 Řezná hrana a zbytek po můstku při pálení laserem

Pálení laserem bylo poptáno ve firmě DEL a. s., která provozuje laserové zařízení japonského výrobce Mazak. Jde o stroj Space Gear MkII 2,5kW (viz. příloha 2). Jak už název napovídá, jde o stroj s výkonem 2 500 W. Tento stroj je schopen velice precizní práce v 2D řezání, v omezené míře pak i řezání v 3D a díky přidanému sklíčidlu i řezání trubek a profilů.

Programátor používá vlastní software firmy Mazak - Mazak Smart Systém (MSS). Díky vestavěnému modulu automatického rozložení součástí dokáže program během několika sekund (standardně se používá nastavení 5 s) vypočítat optimální rozložení součástí na plechu (viz. příloha 9). Jak z přílohy lze vyčíst, na jeden plech velikosti 3000 x 1500 mm lze umístit max. 420 ks výpalků, což odpovídá využití plechu 28,6 %. Zdánlivě nízké číslo hovoří hlavně o odpadu vnitřního kruhu, který sám o sobě tvoří 49,3 % plochy plechu. Ve skutečnosti je tedy využití plechu poměrně vysoké – 77,9 %. A to navzdory tomu, že kruhový tvar součásti je, co se využitelnosti materiálu týče, jeden z nejnevhodnějších. Cena ocelového plechu je nyní (březen 2009) na rekordně nízké úrovni cca 15 Kč/kg, nicméně lze očekávat podstatné cenové fluktuace. Proto volíme drobnou rezervu, tedy 16 Kč/kg, což znamená cenu 4,- Kč/ks. Co se týká samotného řezání, jeden výpalek je zhotoven za cca 18 sek, což při zvýhodněném tarifu 2340,- Kč/hod pálení znamená cenu 12,- Kč/ks. Celková cena výroby tohoto polotovaru laserem tedy činí 16,- Kč/ks. Tyto údaje jsou uvedeny v cenové nabídce (viz. příloha 3) a budou taktéž uvedeny ve srovnávací tabulce všech technologií (viz. tab. 1).

Při výpočtu časové náročnosti výroby vyjde, že bez zastavování stroje (např. kvůli odstranění vzpříčeného výpalku, nebo odpadu), vypálení 420 ks výpalků (tedy jedné tabule plechu) bude trvat 7 560 s \Rightarrow 126 min. Na manipulaci (zahrnující vyjmutí vypáleného plechu jeřábem ze stolu stroje, prohlídku roštů a případné odstranění propadnuvších kusů a založení

nového plechu) bude počítáno cca 14 min. Tedy celý cyklus vypálení jedné tabule plechu bude trvat cca 140 min. S ohledem na časový fond jedné směny 450 pracovních minut bude tedy možno vyrobit za jednu směnu 1 350 ks výpalků. Požadovaná měsíční dávka 12 000 ks pak bude vyrobena za 8,9 směn, což ve třísměnném provozu dělá cca 3 dny.

Na celou dávku bude zapotřebí 29 tabulí plechu o celkové hmotnosti 3 073 kg. Ročně pak bude potřeba 143 tabulí o celkové hmotnosti 15 158 kg a ceně (16,- Kč/kg) 242 528,- Kč. Časově výroba ročně zabere 44,5 směn, tedy cca 15 dní třísměnného provozu.

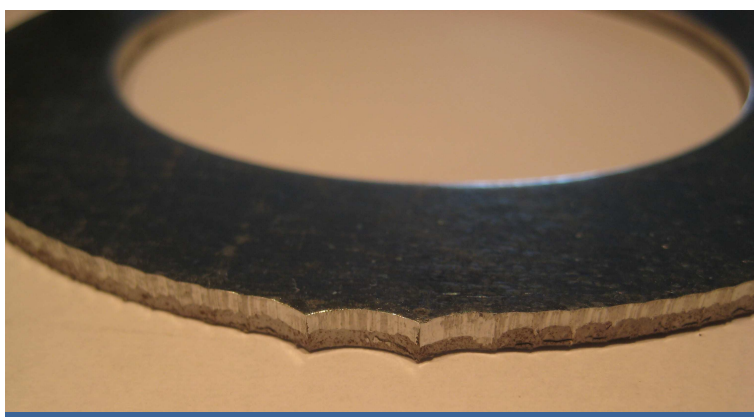
Firma Del a. s. bude ročně fakturovat 960 000,- Kč.

Díly po pálení laserem jsou již, co se týká vnějšího tvaru, v podstatě hotové. Drobný otřep, vytvořený ulomeným můstkem (viz. obr.34), není na funkční ploše a není tedy třeba jej začišťovat.

4.1.2 Polotovár vystřižený CNC děrovacím lisem.

I při výrobě polotovaru stříháním na CNC děrovacím lise je třeba použít můstků. V tomto případě můstky tím, že drží výstřižek uvnitř plechu a zabraňují jeho vypadnutí zamezují vážnému nebezpečí poškození nástroje tím, že se obrobek připlete do místa stříhu a razník narazí místo do jednoho plechu do dvojité tloušťky. Nebo ještě hůř zasáhne obrobek jen částí ostří a zlomí se. Je třeba také brát v úvahu, že v tomto případě se plech nepohybuje spolu se stolem, ale upnutý v upínkách jezdí po kartáčích na stole. Pokud by tedy byl plech příliš zeslaben děrováním, mohl by se zbortit, či zdeformovat. Tomuto nebezpečí je čeleno dostatečně velkými mezerami mezi obrobky, ale také můstkováním součástí, což plech také zpevňuje.

Bohužel se tímto způsobem (tedy rozložením výrobků bezpečně daleko od sebe) podstatně snižuje využití materiálu. K dalšímu snížení procenta využití dochází samotným stříháním. Velikost obrobku totiž zabraňuje použít tvarový nástroj ve tvaru samotného výstřižku a je nutno jej tedy obvodově oddělit kulatým nástrojem tzv. niblováním. Což způsobuje velice nekvalitní a nepřesnou hranu (viz. obr. 35). Další možnost, která bude i využita, je použití speciálního segmentového razníku, který na čtyři úderý dokončí požadovaný tvar. Napojení samotných úderů je sice na obrobku patrné, nicméně je to stále v rámci požadované kvality.



Obr. 35 Detail střížné hrany při vytváření obvodového tvaru niblováním.

Vnitřní tvar obrobku, tedy kruh o průměru $\varnothing 82$ mm bude vyražen přesným střížníkem. Zde vyvstává otázka, bude-li mít stroj dostatečnou sílu na vystřižení otvoru takového rozměru do plechu silného 3 mm. Dle propozic stroje (Příloha 1) disponuje použitý stroj Pullmax 720 maximální střížnou silou 220 kN. Výpočtem (viz. kapitola 2.2 Stříhání CNC

děrovacím lisem) zjistíme sílu potřebnou na prostřížení největšího otvoru, tedy průměru $\varnothing 82$ mm:

$$\begin{aligned} F_S &= S \cdot \tau_{ps} & S &= o \cdot t & \tau_{ps} &= 0,8 \cdot R_m \\ F_S &= 773 \cdot 472 = 364856 \text{ N} \approx \underline{\underline{365 \text{ kN}}} & S &= \pi \cdot d \cdot t & \tau_{ps} &= 0,8 \cdot 590 = \underline{\underline{472 \text{ MPa}}} \\ & & S &= 82 \cdot \pi \cdot 3 = \underline{\underline{773 \text{ mm}^2}} & & \end{aligned}$$

Z výpočtu tedy vyplývá, že stroj není chopen požadovaný tvar vystříhnout na jeden zdvih. Nicméně je zde možnost snížení potřebné střížné síly při použití zkoseného ostří. V tomto případě bude použit střížník s ostřím ve tvaru stříšky. Tato konstrukce břitů nejen, že významně sníží střížnou sílu - o celých 40 %, ale také podstatně eliminuje hlučnost a otřesy při děrování. Síla potřebná k děrování tohoto otvoru tedy klesá na 219 kN, stroj bude tedy, za použití toho střížníku, stříhání schopen.

Jistým rizikem je možnost prohnutí výlisku. Experimentálně ovšem bylo zjištěno, že sice odpad po vystřížení otvoru 82 mm je zdeformovaný, to nás však pramálo zajímá, samotný výlisek po dokončení vykázal deformaci řádově do dvou desetin mm, tedy pro naše účely zanedbatelnou. Tím tedy bylo dokázáno, že vyrobit tento polotovár metodou děrování na CNC děrovacím lise Pullmax 720 lze.

Jak už bylo naznačeno, využití plechu v tomto případě bude nižší, než u metody řezání laserem. Podstatně lepšího využití bychom dosáhli při použití pouze dvou střížníků – jeden na otvor průměr $\varnothing 82$ mm a druhý, speciální, střížník na vnější tvar. Bohužel v tomto případě nelze vnější tvar vyděrovat na jeden zdvih, neboť maximální průměr střížníku může být u tohoto stroje $\varnothing 90$ mm (viz. příloha 1).

Už i střížník průměru $\varnothing 82$ mm je nestandardní záležitostí a bude nutno jej objednat u dodavatele speciálně pro výrobu tohoto dílu. Stejně jako segmentový střížník pro vytvoření vnějšího průměru, byl proto tento střížník poptán u firmy PROTECH SpT (viz. příloha 7), cena bude započítána do výrobních nákladů a konečná cena obrobku bude o tuto částku navýšena. Při předpokládané životnosti nástroje 1 dávka, tedy 12 000 ks výrobků, odpovídá navýšení ceny o cca 2 Kč/ks.

Celý díl bude tedy vystřížen postupně třemi různými střížníky – vnitřní otvor jedním, seseknutá část obvodového tvaru druhým - obdélníkovým nástrojem a nakonec segmentovým razníkem na tři údery bude vytvořen obvod.

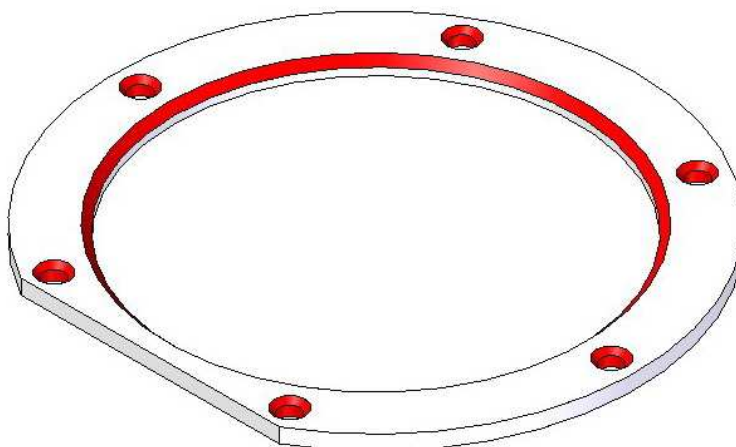
Využití plechu dle automatického rozkladu v programu JetCam, který vytváří výrobní programy (viz. příloha 9) pro děrovací lis, vychází na 20 %, respektive 63,7 %, není-li do prostříhu započítán nutný odpad ze středu výstřížku. Z jedné tabule plechu formátu 3000 x 1500 mm je možno vyrobit 273 ks svěracích kroužků. Na jednu dávku čítající 12 000 ks bude tedy nutno použít 44 tabulí, na roční dávku 60 000 ks, pak 220 tabulí o celkové hmotnosti 23 314,5 kg.

Jedna tabule plechu bude zpracovávána cca 20 min včetně manipulace a bude tedy možno za směnu vyrobit 6 142 ks. Jedna dávka pak zabere cca 2 směny, celoročně pak pouhých cca 7 směn.

Firma Del a. s. bude za tuto práci ročně účtovat 660 000,- Kč (viz. příloha 4).

Stejně, jako u přípravy polotovaru na laseru, i v případě děrování se nabízí možnost přípravy otvorů pro závity M5. V obou případech by ovšem bylo nutno zhotovené otvory před závitováním ještě převrtávat a zástupci obou firem, u kterých bylo obrábění poptáváno, tedy jak ruční, tak CNC obrábění, odmítli snížit cenu práce se změnou z vrtání na převrtávání. Předpálení, resp. vyděrování otvorů pro závity by tedy zbytečně nákladově zatížilo přípravu polotovaru. Nebudeme tedy již více o přípravě otvorů pro závity uvažovat.

4.2 Obrábění polotovaru



Obr. 36 Obrábění polotovaru

Obráběcí operace, jak už bylo výše uvedeno budou uvažovány ve dvou různých rovinách. První možností je přidržet se zavedeného postupu a obrábět kusy na tradičních strojích. Druhá možnost nabízí obrábění na CNC obráběcím centru.

4.2.1 Obrábění polotovaru na tradičních obráběcích strojích

Polotovar připravený laserovým pálením, nebo děrováním musí být nejprve soustružen (sražení hrany na vnitřním tvaru), poté bude vyvrtáno 6 otvorů pro závity M5, následně budou tyto otvory odhroceny a nakonec budou vytvořeny závity.

Dle nabídky firmy Jikov (viz. příloha č. 5) bude postupováno následovně:

Soustružení vnitřního tvaru – díl bude upnut do přípravku tvaru desky a zajištěn pružinovými upínkami. Poté bude sražena vnitřní strana otvoru $\varnothing 82\text{mm}$. Celá operace i s manipulací zabere, dle výrobce, cca. 1 min. Za směnu tedy dělník osoustruží 450 ks dílů. Celá dávka 12 000 ks bude tedy trvat cca. 27 pracovních směn. Počítáno na obrábění na jednom soustruhu. Ročně tedy výroba zabere cca. 134 pracovních směn.

Vrtání otvorů pro závity M5 – vrtání otvorů bude probíhat ve vrtacím přípravku a na sloupové vrtačce. Do přípravku bude umístěno a zároveň tedy bude vždy vrtáno pět kusů najednou. Vyvrtání šesti otvorů do pěti dílů bude trvat cca. 2 min. Za jednu směnu tedy dělník vyvrtá 1 125 ks dílů. Celá dávka 12 000 ks tedy zabere cca. 11 směn, ročně cca. 54 směn.

Odhrocení otvorů a výroba závitů – odhrocení otvorů na obou stranách obrobku, tedy 2 x 6 odhrocení bude realizováno ruční vrtačkou s odhrocovací hvězdičkou. Pro samotnou výrobu závitů pak bude použita vrtačka a závitovací hlava. Podle výrobce zabere výroba šesti závitů na jednom kuse cca. 3 min. Za jednu směnu tedy bude vyrobeno 150 ks. Celá dávka 12 000 ks tedy zabere 80 pracovních směn, ročně pak 400 pracovních směn.

Z uvedených čísel je patrné, že není možno nechat vyrábět díly jedním člověkem postupně operací za operací, neboť by mu roční dávka 60 000 ks zabrala dohromady 588 pracovních směn. Ovšem například rok 2009 má pouze 251 pracovních dní. Optimální výroba by tedy měla počítat se čtyřmi pracovníky – jedním soustružníkem, jedním obráběčem na vrtačce a dvěma dělníky na výrobu závitů. Tím se výroba zkrátí na 200 pracovních směn.

Za tuto práci bude firma Jikov ročně účtovat 4 620 000,- Kč.

4.2.2 Obrábění polotovaru na CNC obráběcím centru

V případě obrábění „Svěracího kroužku“ na CNC obráběcím centru je počítáno s použitím horizontálního soustružnického obráběcího centra. Kroužek bude obroben na hotovo na jedno upnutí a jeho obrobení bude zahrnovat tři výměny nástroje, čímž bude provedeno soustružení vnitřního úkosu, vyvrtání šesti otvorů pro závity M5 a výroba šesti závitů M5. V případě závitů jsou možné dvě výrobní varianty a to buď řezání, nebo tváření závitů, přičemž dodavatel doporučuje závity vyrobit, místo klasické metody řezáním pomocí závitníků, závitníky tvářecími. Výhody vyliisovaných závitů jsou v jejich zvýšené pevnosti a větší přesnosti za stejnou cenu (viz. kapitola 2.3.3). Jedinou nevýhodou tohoto způsobu je daleko vyšší požadavek na přesnost předvrtaného otvoru. Kterážto je ovšem v tomto případě zaručena vysokou přesností celého CNC systému a použitím kvalitního postupového vrtáku. (Vrták je zde uveden jako postupový, neboť na jedno najetí nástroje nejprve vyvrtá kýžený otvor a na konci řezného pohybu jej i zahlubí širší částí vrtáku.)

Pro upnutí dodavatel vytvoří speciální přípravek skládající se ze tří čelistí, z nichž jedna bude mít plochu na přesné vymezení polohy otvorů. Tento přípravek si dodavatel neúčtuje, neobjeví se tedy v ekonomickém hodnocení popsané technologie.

Dle nabídky firmy Kovo Koukola (viz. příloha č. 6) bude celý proces kompletního obrobení jednoho kusu trvat cca. 3 min. Za jednu směnu bude tedy vyrobeno 150 ks dílů. Výroba dávky 12 000 ks bude tedy trvat na CNC centru 80 pracovních směn. Ročně pak 400 pracovních směn. Ovšem u CNC obrábění je možno počítat s třísměnným provozem, tedy celoroční dávka bude vyrobena za cca. 134 pracovních dní.

Firma Kovo Koukola bude ročně za tuto práci účtovat 1 380 000,- Kč.

4.3 Přehled cen výroby dílu jednotlivými technologiemi

Tab. 1 Přehled cen výroby dílu jednotlivými technologiemi

Činnost	Technologie	Cena 1ks Materiál [Kč]	Cena 1ks Práce [Kč]	Cena ks/Kč
Příprava polotovaru	Dělení laserem	4,00	12,00	16,00
	Děrování CNC děrovacím lisem	6,50	4,50	11,00
Obrábění	Klasické obrábění	-	77,00	77,00
	CNC obráběcí centrum	-	23,00	23,00

Jak je patrné z tabulky Tab.1, ze dvou různých možností přípravy polotovaru je podstatně výhodnější technologie děrování na CNC děrovacím lise. A to navzdory faktu, že využití materiálu je oproti laseru pouze 61,5 % a navíc musí být pro každou sadu 12 000 ks dílů zakoupena nová sada nástrojů.

V tabulce 4.1 je dále uvedeno porovnání cen za klasické obrábění versus obrábění na CNC obráběcím centru. Cenový rozdíl je markantní. Cena účtovaná za klasické obrábění je oproti CNC obráběcímu centru vyšší o 335 %.

Roční náklady na výrobu sady 60 000 ks dílu „Svěrací kroužek“ stávajícími technologiemi (vypálení polotovaru laserem a následné obrobení tradičními obráběcími postupy) : 5 280 000,- Kč.

Roční náklady na výrobu sady 60 000 ks dílu „Svěrací kroužek“ navrhovanými technologiemi (vystřížení polotovaru na CNC děrovacím lise a následné obrobení na CNC obráběcím centru) : 2 040 000,- Kč.

Roční úspora činí 3 240 000,- Kč, což je 61,4 %.

5 ZÁVĚR

Tato práce řešila možnosti výroby součásti zvané „Svěrací kroužek“. Postavila proti sobě technologie, jimiž je díl v současné době vyráběn, proti alternativním technologiím.

Práce přinesla jasný důkaz o důležitosti orientace v možnostech technologií obrábění kovu, ať už tradičních, či úplně nových. Stejně tak o důležitosti sledování nejnovějších trendů a pokroku v oblasti zpracování kovů.

Bylo zjištěno, že výroba dílu „Svěrací kroužek“ byla po mnoho let naprosto zbytečně nákladná, a že po navrhované změně technologií budou náklady zásadně sníženy.

Při porovnání nákladů, zatěžujících stávající a navrhovanou technologii výroby dílu, lze dojít k následujícím výsledkům:

Roční náklady na výrobu sady 60 000 ks dílů „Svěrací kroužek“ stávajícími technologiemi (vypálení polotovaru laserem a následné obrobení tradičními obráběcími postupy) : 5 280 000,- Kč.

Náklady na výrobu jednoho ks tedy činily 93,- Kč/Ks.

Roční náklady na výrobu sady 60 000 ks dílů „Svěrací kroužek“ nově navrhovanými technologiemi (vystřížení polotovaru na CNC děrovacím lise a následné obrobení na CNC obráběcím centru) : 2 040 000,- Kč.

Náklady na výrobu jednoho ks tedy budou činit 34,- Kč/Ks.

Konečná varianta vybraných technologií je vystřížení polotovaru na CNC děrovacím lise a následné obrobení na CNC obráběcím centru.

Roční úspora, kterou přinese tato změna, je 3 240 000,- Kč, tedy bezmála 61,4 %.

Pro výrobu svěracího kroužku se nabízejí další možnosti, jako je řezání vodním paprskem, paprskem plasmy, či stříhání postupovým střížním nástrojem. Dokonce by bylo možno uvažovat o kompletním obrábění celého dílu z tyčového materiálu. Tyto možnosti poskytují látku pro další práci, která naváže na tuto.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ZMYDLENÝ, Tomáš. *Tepelné dělení materiálů : Stručný úvod do řezání kyslíkem, plazmou a laserem*. [s.l.] : [s.n.], [2008]. s. 45.
2. Mazak [online]. 2009 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.mazaklaser.be/web/Products/space-gear-mark-II.aspx/EN>>.
3. Pross [online]. 2008 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.pross.cz/images/obsah/laser3.jpg>>.
4. Yorkshire laser & fabrication [online]. 2004-2009 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.yorkshirelaser.co.uk/interface/laser_cutting/bystar_30_large.jpg>.
5. Wilson tool [online]. 2009 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.wilsontool.co.uk/en/products/punching/trumpf/standards/>>.
6. Pullmax [online]. [2006] [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.pullmax.com/startpage.aspx?pageid=14>>.
7. Pullmax [online]. 2006 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.pullmax.com/productpage.aspx?pageid=125>>.
8. HUMÁR, Anton. *Technologie I : Základní metody obrábění-1. část*. [s.l.], 2004. 138 s. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia.
9. Pramet [online]. [2009] [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.pramet.com/index2fa9.html?lang=cz>>.
10. BOW [online]. 2005-2009 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.bow.cz/produkt/3402630dpa-soustruh-opti-d-560-x-3000-dpa/>>.
11. HUMÁR, Anton. *Technologie I : Základní metody obrábění-2. část*. [s.l.], 2004. 94 s. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia.
12. Guerhing [online]. 2008 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.guehring.cz/produkty/vrtaky.html>>.
13. Arno [online]. 2008 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <http://www.arno.de/content_de/page/002_produkte_shark_drill.html>.
14. Sandvik-Coromant [online]. 2008 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.coromant.sandvik.com/>>.
15. Mori Seiki [online]. [2002-2009] [cit. 2009-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.moriseiki.com/english/products/mch/index.html>>.
16. ROUBÍČEK, Martin. *Kritéria volby metody a trendy tepelného dělení materiálu* [online]. 2007 [cit. 2009-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.airliquide.cz/file/otherlement/pj/roubicek49122.pdf>>.
17. *Možnosti pálení laserem* [online]. 2008 [cit. 2009-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.cuttech.com/file/otherpages/ds/laser897567.pdf>>.
18. KOCMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno : CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

F_s	[N]	- střižná síla
S_s	[mm ²]	- obsah střižné plochy
τ_{ps}	[MPa]	- střižný odpor materiálu
R_m	[MPa]	- mez pevnosti v tahu
l	[mm]	- délka střižné hrany
d	[mm]	- průměr děrovaného otvoru
t	[mm]	- tloušťka materiálu

SEZNAM PŘÍLOH

1. Děrovací lis PULLMAX 720
2. Laserový pálicí stroj Mazak Space Gear Mk II, 2,4 kW
3. Nabídka Del a.s. - Pálení dílu laserem
4. Nabídka Del a.s. - Děrování dílu CNC děrovacím lisem
5. Nabídka Jikov - Obrábění dílu
6. Nabídka Kovo Koukola - Obrábění dílu
7. Nabídka SpTech - Nástroje pro děrovací lis
8. Výrobní výkres – „Svěrací kroužek“
9. Nástřihový plán – Laser
10. Nástřihový plán – Děrovací lis
11. Automat na výrobu PET lahví